

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

GA CCC

CC AAAA GGCCI

ATAAGA CTCTAACT CI

AA TAACT

AAT A TCTATAAGA CTCT/

CTC GCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT

A T A TCTATAAGA CTCTAACT

CTC GCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCA

A T A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

00 1 1110 000

) 11 001010 1

国立研究開発法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター

0011 1110 000

00 11 001010 1

11 1110 000

ショートレポート

新型コロナウイルス感染症に関する環境・エネルギー分野における世界の研究開発動向：

「水と感染症」編

2020年10月15日版（第一版）

TCTATA
GCC AATTAATA
ATC A AAGA CC
A TCTATAAGA
AATC A AAG
CCTAACT C
1 1110 00
11 001

はじめに

- 本資料は国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（以下、「JST-CRDS」と呼ぶ。）内にて実施したセミナーシリーズを基にとりまとめたものです。様々な分野の有識者から、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）と関わりの深い研究開発動向や、今後のウィズコロナ/ポストコロナの時代における社会や科学技術の在り方について講演いただき、議論しました。その中から、早期発信が有益な研究開発動向や科学的知見等をJST-CRDSの観点から抽出し、とりまとめています。
- 一連のセミナーシリーズの詳細は近日中に報告書としてとりまとめる予定です。現在進行形の事態であることに鑑み、得られた情報を迅速に公表することにより、関係各所におけるCOVID-19への対応の一助となれば幸いです。
- 本資料はセミナーに参加いただいた有識者からの同意を得て公開するものですが、本資料の著作権はJSTに帰属します。教育、報道、研究など著作権法で認められる範囲においては利用許諾を得ずに利用できますが、本資料を引用・抜粋することによって生じるいかなる事態に対してもJST-CRDSは一切の責任を負いません。また、新たに判明する科学的事実等に応じて、本資料の内容を更新、修正する場合があります。引用・抜粋した資料がいつ時点のものであるかの確認もお願いいたします。ご不明点等についてのお問合せは以下へお願いいたします。

【本資料に関する問い合わせ先】

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

メール：crds@jst.go.jp

電話：03-5214-7481

- 本資料を引用・抜粋する際の出典記載例は以下のとおりです：
記載例：国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター ショートレポート「新型コロナウイルス感染症に関する環境・エネルギー分野における世界の研究開発動向：「水と感染症」編 2020年10月15日版

「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」

＜開催実績＞

開催日	区分	演題、講師（敬称略）
2020年7月17日	水と感染症	「下水疫学研究の最新の動向」 片山 浩之（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
2020年7月27日	水と感染症	「感染症指定医療機関の浸水想定状況と上流ダムの治水機能向上のための事前放流技術」 野原 大督（京都大学 防災研究所 助教）
2020年8月6日	水と感染症	「水は社会を映す鏡」 大村 達夫（東北大学 未来科学技術共同研究センター シニアリサーチフェロー） 「「生」を「衛（まもる）」工学における下水疫学調査」 古米 弘明（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
2020年8月21日	水と感染症	「病原微生物の伝搬と人々の行動」 福士 謙介（東京大学 未来ビジョン研究センター 副センター長・教授）
2020年9月4日	水と感染症	「新型コロナウイルスの下水疫学」 北島 正章（北海道大学 大学院工学研究院 助教）

※随時更新予定

※各講演の概要については本資料末尾参照

1-1. 下水疫学 (Wastewater-Based Epidemiology)

- 感染症は「感染する病原体」「感染される生物（宿主）」に加え「感染経路」が揃わないと成立しない。コレラ、赤痢など水が主な感染経路である水系感染症は、先進国の都市部では下水道の整備という「感染経路」の遮断によって脅威を抑えられてきた。現在も、途上国や過疎地の下水道未整備地域や洪水災害など非定常時の感染症リスクに関する研究が世界では継続的に行われている。
- 水系感染症以外の感染症でも、適切に管理された下水の重要性に関する研究報告がなされている。たとえば、2003年の重症急性呼吸器症候群（SARS）の際、数百人の集団感染が発生した香港の高層マンションの調査報告が有名である。陰圧状態の浴室の排水口U字管に水が溜まらない欠陥などがあり、SARSウイルスを含んだエアロゾルが下水管から拡散した可能性が疑われた。

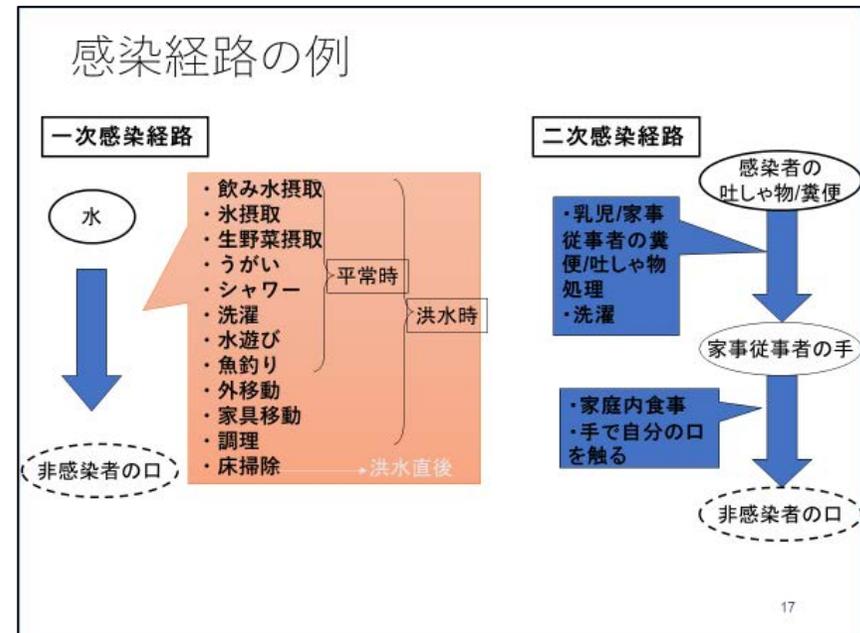
(①Lee Shiu Hung, Journal of the Royal Society of Medicine, Vol.96, Issue 8, p.374, 2003、②横浜市衛生研究所 <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/kenko-iryō/eiken/kansen-center/shikkan/sa/sarsamoy1.html>) (2020年9月アクセス)

病原微生物の流れ

- ヒト > 下水 > 自然 > (水・食料) > ヒト：下痢症など（ノロウイルス、コレラなど）
- ヒト > 自然 > 巻き貝 > 食料 > ヒト：吸虫症など
- ヒト > 自然 > フィラリア > クロバエ > ヒト：眼病など
- ヒト > 自然 > ハマダラ蚊 > ヒト：マラリアなど

ヒト、昆虫、水などは移動する。
最も行動範囲が広いのは人間である。

6



図：東京大学・福土教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月21日）講演資料から許可を得て抜粋

1-1. 下水疫学 (Wastewater-Based Epidemiology)

- 先進国では、大腸菌濃度を糞便汚染の代表指標として培養検査し、水道水質の安全を担保している。大腸菌よりもさらに小さいウイルスの濃度をPCR法（核酸増幅法）で定量評価し、感染症が蔓延する前に、流行の兆候を把握しようという新興分野「**下水疫学**」が研究されている。
- 下水疫学により、水を介して感染する水系感染症ウイルスのノロウイルスや、人間の腸で増殖する腸管系ウイルスのポリオウイルスに対して、後述する成果（P.5）がこれまでに創出されている。
- 下水道はもともと病原体からの「感染経路を遮断する」価値をもたらしてきた。下水疫学は、さらに「病原体などのリスクを検知し、流行情報を把握する」新しい価値の創出を目指している。
- 新型コロナウイルス感染症（以降、COVID-19と記載）をもたらす新型コロナウイルス（以降、SARS-CoV-2と記載）にも下水疫学の手法を適用できないか国内外で精力的に検討が進められている。**

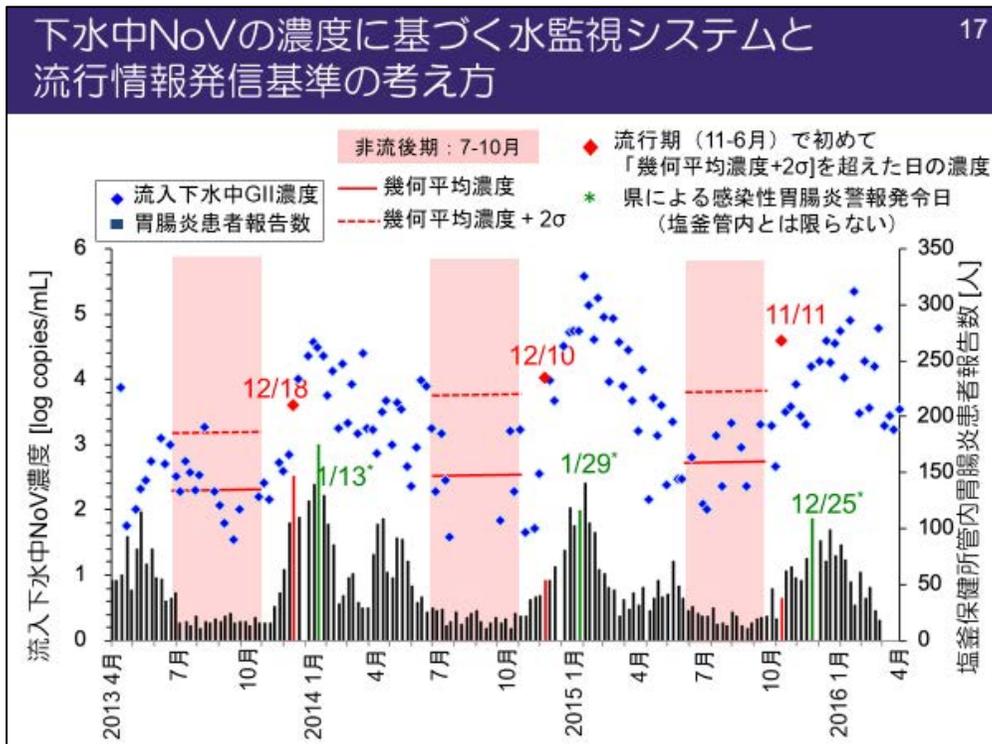


図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

1-1. 下水疫学 (Wastewater-Based Epidemiology)

- 下水疫学に関する研究成果として、下記の事例がこれまで社会実装に至っている。

(事例①) 仙台市での下水調査を利用したノロウイルス早期検知システム※



図：東北大学・大村シニアリサーチフェロー「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月6日）講演資料から許可を得て抜粋

- ノロウイルス患者数の増加に先立ち、下水集水域でのノロウイルス濃度が上昇することを確認。(Kazama et al., Applied Environmental Microbiology, Vol.83, Issue 9, 2017)

この成果を元に、下水中ノロウイルス濃度情報発信サイトを設立。

※本成果はCREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域で実施された研究課題「迅速・高精度・網羅的な病原微生物検出による水監視システムの開発」（平成23～28年度）の支援を受けて創出。

(事例②) WHOのポリオウイルス撲滅プログラム（環境水や下水からのポリオウイルス検出）

(事例③) 欧米各都市での違法薬物検出（下水中の麻薬成分検出による犯罪捜査応用）

1-2. 国内/世界各国における研究動向

＜COVID-19に対する下水疫学の適用可能性を示す医学分野の知見の蓄積＞

(1) SARS-CoV-2が患者の便からも検出されることを確認。

- ・COVID-19集団感染が起きた大型客船の調査結果、患者の船室33室のうち13室のトイレ周辺からSARS-CoV-2のRNAが検出された。 (Yamagishi *et al.*, The Journal of Infectious Diseases, Vol.222, Issue 7, p.1098, 2020)
- ・広東省珠海市の中山大学附属病院で、COVID-19入院患者74人の糞便を2020年1月から3月にかけて調査した結果、41人からSARS-CoV-2のRNAを検出。咽頭検体からは平均17日程度、糞便検体からは平均4週程度の期間で検出された。 (Yongjian Wu *et al.*, The Lancet Gastroenterology & Hepatology, Vol.5, Issue 5, p.434, 2020)
- ・ミュンヘンの病院でCOVID-19入院患者9人の咽頭、唾液、血清、糞便、尿の試料を調査した結果、糞便から非感染性だったがSARS-CoV-2のRNAを多く検出した。 (Roman Wölfel *et al.*, Nature, Vol.581, Issue 7809, p.465, 2020)

(2) SARS-CoV-2は呼吸器系の細胞だけでなく、人間の腸の細胞でも増殖することを確認。

- ・ヒトの腸の上皮細胞を用いた試験結果、SARS-CoV-2が感染し、増殖することが確認された。 (Mart M. Lamers *et al.*, Science, Vol. 369, Issue 6499, p.50, 2020)
- ・浙江省舟山市CDCの調査で、無症候性感染者と判明した子供1人の便検体からSARS-CoV-2のRNAが検出された。 (An Tang *et al.*, Emerging Infectious Diseases, Vol.26, Num.6, p.1337, 2020)
- ・中山大学附属病院のCOVID-19患者1例の糞便検体について、ベロ細胞を用いたモデル試験で感染が確認された。感染源となり得るかまでは未確定。 (Fei Xiao *et al.*, Emerging Infectious Diseases, Vol.26, Num.8, p.1920, 2020)

(3) COVID-19の糞口感染経路について可能性は有り得るが未確定である。

- ・糞口感染経路も起こり得ることを示唆する根拠の報告が増えつつあるが、2020年4月時点で下水中での感染性の保持時間など未確定の疑問が多く存在する。 (Siyuan Ding *et al.*, Gastroenterology, Vol. 159, Issue 1, p.53, 2020)
- ・広東省広州市の高層マンションでのCOVID-19患者9人の感染経路調査の結果、排水配管からエアロゾル化した糞便由来SARS-CoV-2が引き込まれ感染が成立した可能性が報告された。2003年の香港高層マンションでのSARSの事例 (P.3) と類似している。 (Min Kang *et al.*, Annals of Internal Medicine, M20-0928, 2020)
- ・我が国の都市部のように下水道が整備・管理され、適切な空調衛生が保たれていれば、下水を媒介しCOVID-19感染の可能性は相当に低い。

1-2. 国内/世界各国における研究動向

<COVID-19に対する下水疫学の実用化に向けた期待やメリット>

- COVID-19の下水疫学が実用化できれば、ノロウイルスやポリオウイルスと同じように地域の流行情報を早期に得られる可能性がある。
- 下水疫学は流行情報の早期情報把握という可能性だけでなく、処理区域の代表性を持つ、社会的スティグマを回避できるという有用性も持つ (Murakami et al., Environmental Science & Technology, Vol.54, Issue 9, p.5311, 2020)

Water Quality Control Engineering Laboratory

COVID-19下水疫学調査の有用性 8

Kitajima et al., 2020

- SARS-CoV-2 RNAが下水から検出
- 特定の地域におけるCOVID-19流行状況の把握が可能
 - ✓ 感染流行、遺伝的多様性、地理的分布の推定
- 臨床研究では把握困難な場合でもウイルス感染症疫学の把握が可能
 - ✓ 従来(臨床のみ)の疫学研究アプローチでは、感染症疫学の全体像の把握が困難
 - ✓ SARS-CoV-2は不顕性感染も引き起こすため
- 感染拡大の評価にあたりバイアスのかからない方法となり得る
 - ✓ 発展途上国などの臨床診断体制が未整備の地域で特に有効
- 分子系統解析により、流行ウイルス株の変異等を追跡可能
 - ✓ 地域間の流行株の比較やウイルス進化(ゲノム情報の経時変化)の評価が可能

Water Quality Control Engineering Laboratory

COVID-19下水疫学調査の有用性 9

Kitajima et al., 2020

- 公衆疫学的介入の効果の評価に有効
 - ✓ ロックダウン、外出自粛命令・要請、ソーシャルディスタンス等
- 特定の地域におけるCOVID-19流行状況に関して“匿名”の疫学情報を提供
 - ✓ 個人を特定しない疫学調査であるため、個人の偏見の問題を回避できる (Murakami et al. 2020)
- 臨床検査との組み合わせにより、検査コスト削減と効率化が可能
 - ✓ 地域ごとの感染状況を把握することによる臨床検査の優先順位付け

図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

1-2. 国内/世界各国における研究動向

<下水疫学のウイルス調査の一般的な流れ>

① サンプルング

下水中ウイルス濃度の時間変動に対して、効果的な下水試料の採取法の検討（※課題はp.9、10で後述）

② ウイルスの濃縮

試料中のウイルスを安定的かつ安価、簡単、迅速に濃縮する標準的手法が望ましい（※課題はp.9、検討はp.12で後述）

③ 核酸の抽出

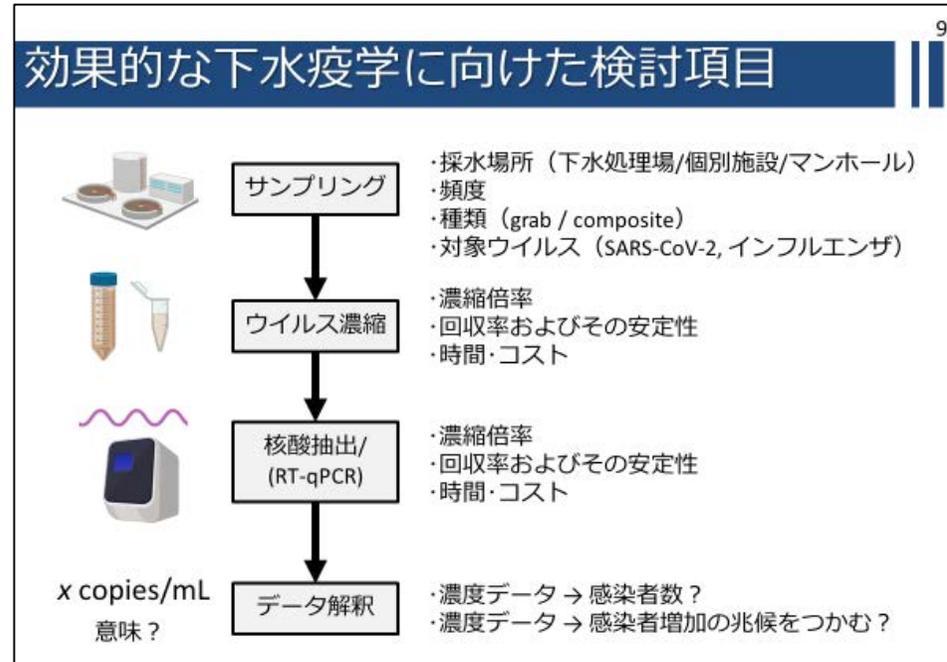
リアルタイム定量PCR法（RT-qPCR）でウイルスRNAを検出、ウイルス濃度の定量

④ データの科学的解釈

下水集水地域のウイルスの感染者集団数の統計学的推定

上図：東京大学・片山教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（7月17日）講演資料から許可を得て抜粋

下図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

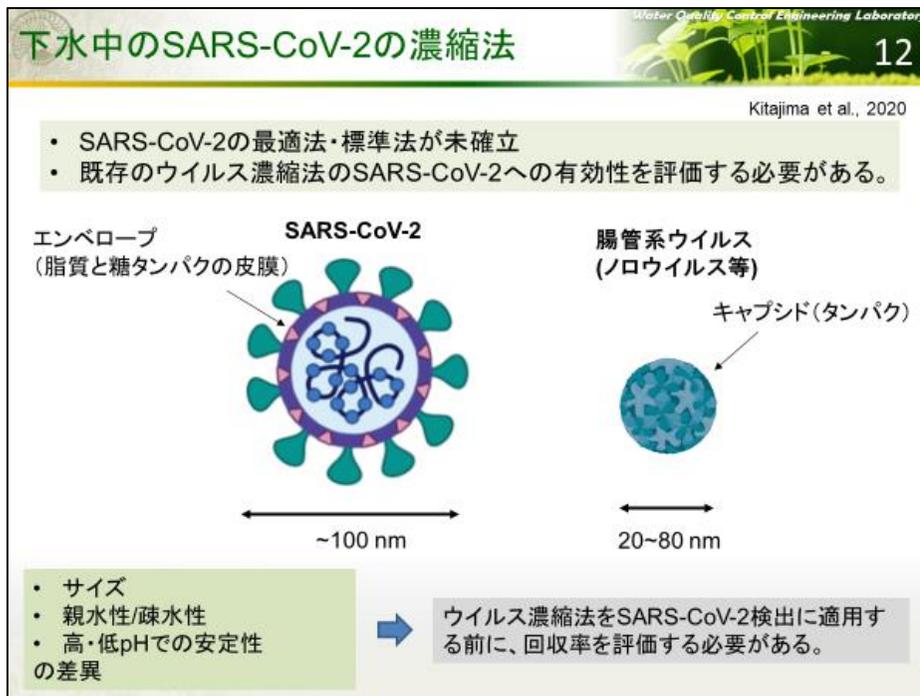


1-2. 国内/世界各国における研究動向

<COVID-19に対する下水疫学の実用化に向けた課題①>

既存の下水疫学の手法はエンベロープの無いウイルス（SARS-CoV-2と異なる）向けに構築。

- 横浜市ではポリオウイルス調査のため下水試料を採取している。2018年1月から2020年5月までに採取し保管していた試料をあらためて検査した結果、SARS-CoV-2は非検出だった。患者数が少数だった背景もあるが、ポリオウイルス向けの手法を用いており、SARS-CoV-2に適した手法の検討が課題である。（国立感染症研究所IASR Vol. 41、p.122、2020年7月号）



表：形態による各ウイルスの違い

被膜 \ 核酸	RNAウイルス	DNAウイルス
エンベロープあり	コロナウイルス インフルエンザウイルス エボラウイルス 狂犬病ウイルス 麻疹ウイルス ヒト免疫不全ウイルス ジカウイルス C型肝炎ウイルス	天然痘ウイルス ヘルペスウイルス B型肝炎ウイルス
エンベロープなし	ポリオウイルス ノロウイルス ロタウイルス サポウイルス	アデノウイルス ヒトパピローマウイルス

※多くの腸管系ウイルス、水系感染症ウイルス

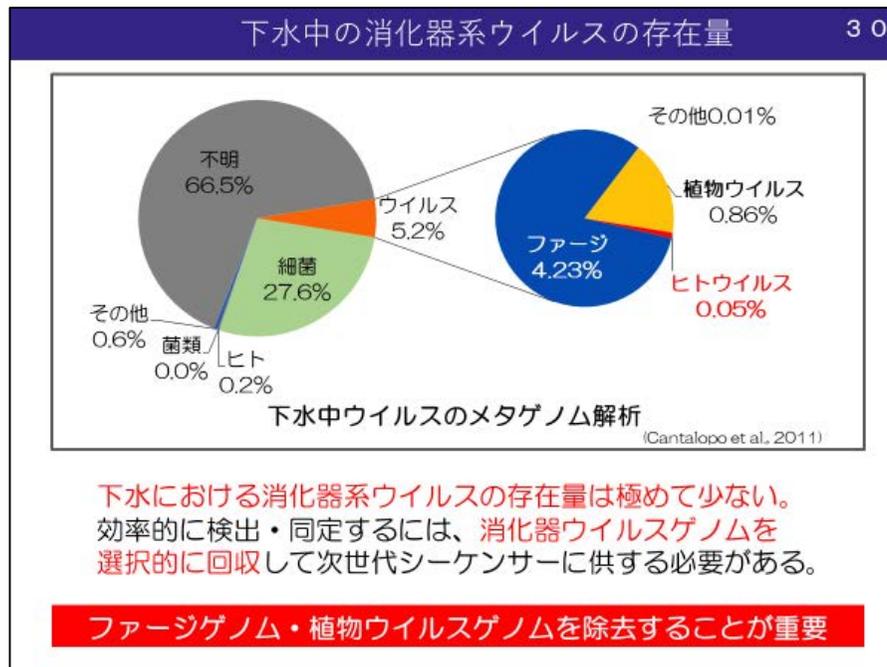
図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

1-2. 国内/世界各国における研究動向

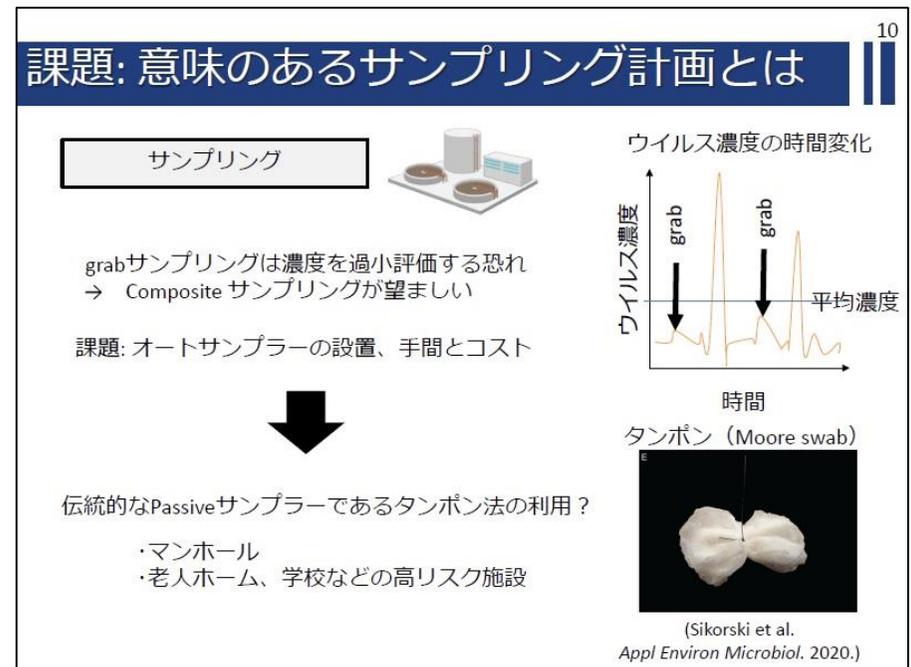
<COVID-19に対する下水疫学の実用化に向けた課題②>

下水中のウイルス量は極めて少ない。試料採取、濃縮法などの検討が必要。

- COVID-19に対する下水疫学の実用化のため、既存の知見を日米豪伊の共同チームが整理し、課題を提示。効率的にSARS-CoV-2 RNAを検出、同定するためには、低濃度の下水からの試料採取、濃縮の標準手法や解釈法などの開発が重要となると指摘。(Kitajima et al., Science of the Total Environment, Vol.739, article 139076, 2020)
- 下水中ウイルス量は極めて少ないことが既知。(Paul G. Cantalupo et al., MBio. Vol.2, Issue 5, 2011)
- 過去、腸チフス菌調査などに用いられた連続的に採水を行う下水採取法の有効性が見直されている。(Michael J. Sikorski et al., Applied and Environmental Microbiology, Vol.86, Issue 13, 2020)



図：東北大学・大村シニアリサーチフェロー「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月6日）講演資料から許可を得て抜粋



図：東京大学・片山教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（7月17日）講演資料から許可を得て抜粋

1-2. 国内/世界各国における研究動向

＜世界のCOVID-19に関する下水疫学調査の事例＞

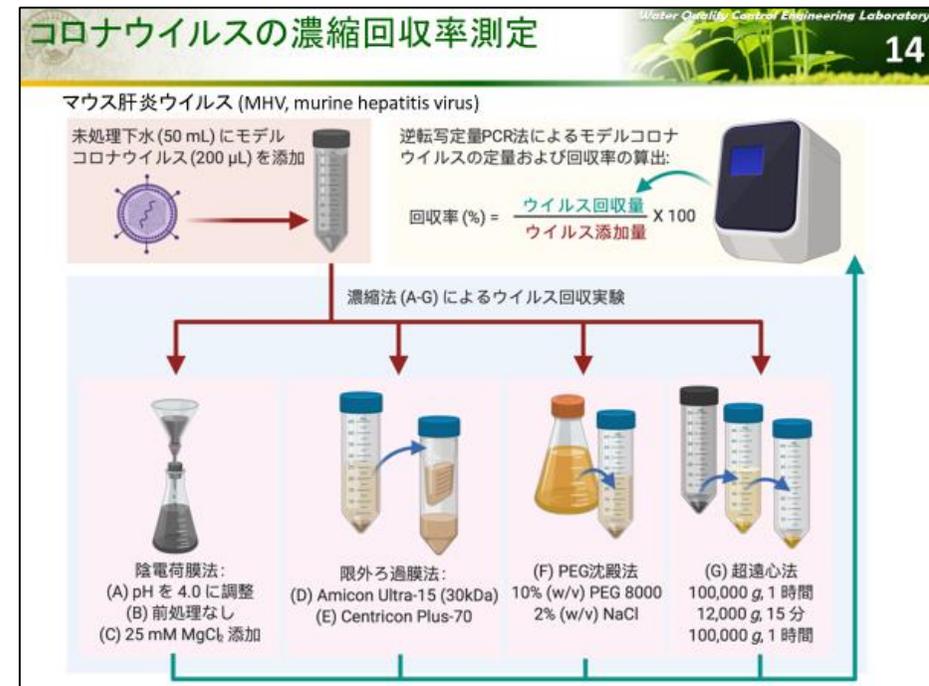
- ・オランダ水循環研究所（KWR）が各都市の2020年2月から3月の下水試料を調査した結果、COVID-19患者数と下水中SARS-CoV-2 RNA推定濃度に有意な相関を見出した。（Gertjan Medema *et al.*, *Environmental Science & Technology Letters*, Vol.7, Issue 7, p.511, 2020）
- ・日本を含む国際チームが米国ルイジアナ州で下水試料からSARS-CoV-2 RNA検出に成功。（Samendra P. Sherchan *et al.*, *Science of the Total Environment*, Vol.743, article 140621, 2020）
- ・マサチューセッツ州での下水試料の調査でも、下水中SARS-CoV-2 RNA検出および患者数との相関が見られた。（Fuging Wu *et al.*, medRxiv, 2020.06.15.20117747）下水中麻薬成分検出ビジネスを目的に、2017年に創業したMIT発ベンチャーのバイオボット・アナリティクス社は数百万ドル規模の資金調達に成功し、自治体向けに下水試料の受託分析サービスの提供を開始。
- ・コネチカット州の下水処理場で採取した汚泥中のSARS-CoV-2 RNAウイルス濃度とCOVID-19患者数に相関が見られた。下水疫学情報から早期に流行検知できる期待がある。（Jordan Peccia *et al.*, *Nature Biotechnology*, Vol.38, p.1164, 2020）ただし汚泥での測定のため、下水との違いの評価が必要。
- ・オーストラリア、フランス、イタリア、スペインなどでも同様に下水の調査が実施、報告されている。
- ・世界水協会（IWA）がCOVID-19タスクフォースを設置。日本水環境学会が連携している。
- ・COVID-19下水疫学国際コンソーシアムが発足。日本を含む13か国60名の研究者が論文情報や検出データ等の活発な情報交換を実施。（<https://www.covid19wbec.org>）

（2020年9月アクセス）

1-2. 国内/世界各国における研究動向

<国内のCOVID-19に関する下水疫学調査の事例>

- 日本水環境学会がCOVID-19タスクフォースを設置。下水および水環境中のSARS-CoV-2の検出・除去・リスク管理に関する国内外の情報収集・発信や、全国の下水道事業者と協力体制を構築して、下水試料の採取と調査などを精力的に実施している。
- 山梨県で2020年4月に採取した下水1試料からSARS-CoV-2 RNAを検出。(Haramoto et al., Science of the Total Environment, vol.737, article 140405, 2020)
- 富山県、石川県で2020年3月から4月にかけて採取した下水27試料のうち7試料からSARS-CoV-2 RNAを検出。(Hata et al., medRxiv, 2020.06.09.20126417)
- 日米英豪新の共同チームが下水中コロナウイルスを7つの手法で評価し、濃縮回収率の違いを明らかにした。(Warish Ahmed et al., Science of the Total Environment, vol.739, article 139960, 2020)



図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

1-3. 下水疫学調査研究の今後の課題

- 我が国のCOVID-19感染者数が欧米各国と比べて極めて少ない背景などから、下水中ウイルス量が少なく、検出が遥かに難しい。回収率や検出データの蓄積に加え、我が国では効果的なサンプリング手法や大容量の濃縮回収技術などの研究開発により、感度を高める課題が重要。
- 感染者ウイルス排出情報など医学、情報分野等と水分野との分野横断知見に基づいた流行推定ソフト開発。ウイルス濃度の経時変化による流行の兆候や収束の判定の科学的検討。
- 他のエンベロープ系の感染症ウイルス等への展開を見据えた適用限界の科学的検証。
- 将来のパンデミックに備えた産官学連携や調査研究体制の事前整備。現場への実装を見据えた、さらに安定的で安価、簡単、迅速で再現性の高い手法の検討。測定精度の管理。
- 下水中ウイルスの感染性や生残性のより詳細な評価。さまざまな下水処理での除去率の評価。消毒液や界面活性剤などの下水混入物が与える影響などの科学的検討。
- 医療診断体制が脆弱な発展途上国等での支援の適用可能性の検討。地域間の流行比較のためには標準的手法が望まれる。
- 社会への適切な情報発信の在り方の検討。

図：東京大学・古米教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月6日）講演資料から許可を得て抜粋

今後期待される下水疫学調査研究

下水疫学調査研究の課題

- 下水や下水汚泥を対象とした、再現性のある安定した検出・定量可能な手法の確立、現場で適用可能な廉価で簡易な手法
手法の最適化、感度の向上、濃縮手法の改善、障害物質、RT-PCR系の選択、精度管理、非特異的増幅やコンタミ評価
- 感染者数など疫学的統計データと下水中ウイルス濃度との関係整理とその関係の解釈
新規感染者数、入院者数、発症時期、年齢や重症度
- 第二波の早期検知の在り方と警告発信につながる活用法
モニタリング方法、検査頻度や試料の代表性、閾値設定
他部局連携に基づく判断基準
- 下水中ウイルス検出・定量結果の公表や情報の取り扱い
発出時期、表現方法、検査陽性者数との関係も？

CRDS環エネ企画セミナー「水と感染症」 2020年8月8日

2-1. 水害と感染症の複合災害

- **近年の洪水災害の激甚化・頻発化：**

近年、気候変動の影響などにより、計画規模（100年以上に1度の発生頻度）や想定最大規模（1000年以上に1度程度の発生頻度）の大規模洪水が、日本各地で毎年のように発生。

- **COVID-19をはじめとした感染症対策も加わる複合災害化：**

従来の水害対応では感染症対策をあまり想定できていなかった。水害対応活動への前提条件を大きく変える必要に迫られ、避難所などの制約が大きくなった。防災・治水部局だけの連携にとどまらず、医療機関、厚生・保険部局との平常時からの連携の重要性も顕在化。

- **感染症医療の中心を担う医療機関への洪水の影響：**

直接的・間接的な浸水対策への貢献のため、全国の感染症指定医療機関の浸水想定の調査が行われた。（野原大督・角 哲也：全国の感染症指定医療機関の浸水想定状況の調査報告，2020年4月公表）計画規模洪水が起こった際、数割の指定医療機関では浸水が想定されることがわかった。止水板などの対策に加え、電気回路防水化や非常用電源確保、感染症病床の上層階設置などの複合的な観点での対策を平常時から講じておく必要がある。

- **浸水被害を低減するための防災・治水の重要性がさらに増大：**

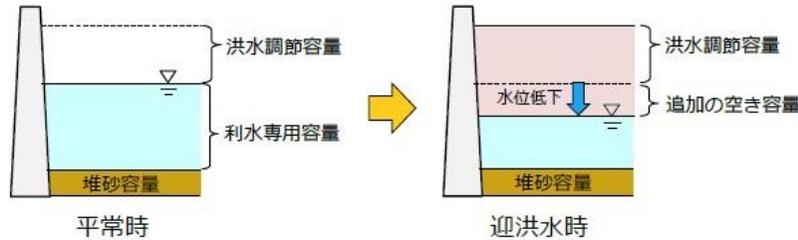
感染症流行との複合災害を低減するため、上記の医療機関の自衛対策だけではなく、地域の水防活動、上流ダムの事前放流などによる側面的支援の重要性が増している。

2-2. ダム貯水池の事前放流による被害規模低減

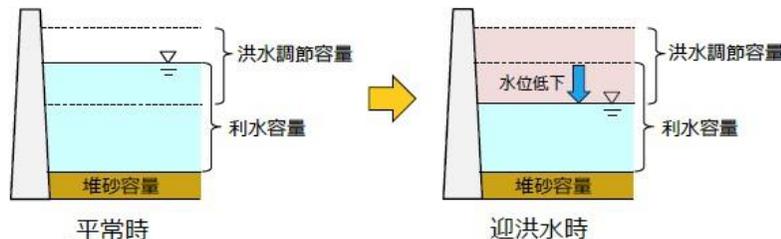
- 気象・水文予測を活用し、多目的ダムの事前放流により、洪水の被害を低減させる研究や取り組みが進んでいる。事前放流は非常時操作であり、後日、水位回復させる義務がある。
- 事前放流を行うにあたり、的中精度が高く、リードタイムが長く、極値の予測性が高い降雨予測が望まれる。これらを満たす気象予測は困難だが、代替手段として近年、世界の気象機関から複数の予測シナリオを示すアンサンブル予報の提供が始まっている。一部の自治体では、内閣府SIPなどを通じた研究機関との共同研究によって、アンサンブル予報の防災応用の取り組みが始まっており、事前放流の実施判断への適用が期待されている。

事前放流と予備放流の違い

事前放流・・・利水専用容量から放流。水位回復の義務有り。

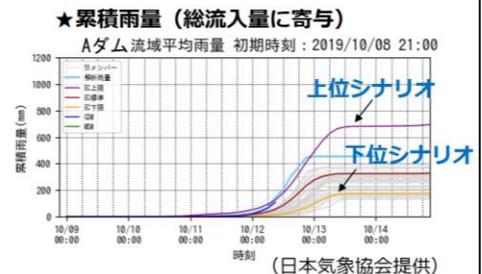
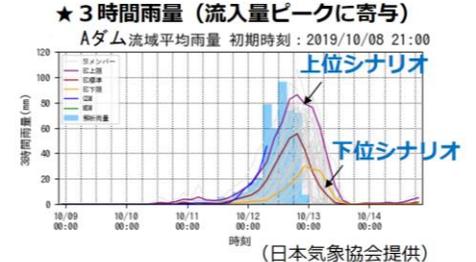


予備放流・・・規則上の洪水調節容量を確保するために放流。水位回復の義務無し。



長時間アンサンブル予測情報活用の利点と欠点

- 出水の始まりから終わりまでを見通すことができる
- 事前放流で重要となる**大規模洪水の発生可能性**と**水位回復可能性**の双方を判断可能
- リードタイムが長く早期から事前放流を開始できるため、放流能力が小さい利水放流管や発電放流管を使った事前放流が可能
- 発電を行いながら事前放流ができるため、無効放流を減らすことが可能
- ただし、予測の情報量が多く、**効率的に利用するための技術開発が必要**



[参考] 講演概要

- 開催日：2020年7月17日実施
- 演題：「下水疫学研究の最新の動向」
- 講師：片山 浩之（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
- 概要：
 - 下水疫学が国内外で注目されるにいたった背景や科学的議論のために求められる課題などを解説。
 - 実用化されたノロウイルスと、新型コロナウイルスの大きな違いにエンベロップ（脂質二重膜で作られたウイルスの殻）がある。既存のウイルス収集法、濃縮法が適用できず、安価で効率的、簡便なウイルス収集法、濃縮法を新たに開発する必要がある。

SARS-CoV-2と下水

SARS-CoV-2

飛沫感染・接触感染

下水処理場

SARS-CoV-2は糞便中にも排出される

ウイルス濃度

感染者数 (赤字調査)

流行検知

下水中にウイルスが存在 → 集水域に患者がいる

安定的な開発に向けた実験

代替指標を使用した濃縮回収率試験

MS2 ノンエンベロップウイルス

phi6 エンベロップウイルス

3か所の流入下水 50 mL

Centrifuge + UF

EMV

PEG

ウイルスを選択的に濃縮する手法を適用し、回収率を調査

100倍程度の濃縮産物

図：東京大学・片山教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（7月17日）講演資料から許可を得て抜粋

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年7月27日実施
- 演題：「感染症指定医療機関の浸水想定状況と上流ダムの治水機能向上のための事前放流技術」
- 講師：野原 大督（京都大学 防災研究所 助教）
- 概要：
 - ・ 感染症と洪水災害の複合災害への備えとして、全国の指定医療機関について、洪水時の浸水深を調査した結果を紹介。
 - ・ 洪水災害の防止、被害規模低減に貢献するダム事前放流について、最先端の気象予測情報と統合した先行研究等を紹介。

調査結果のまとめ

- 感染症病床を持つ372の感染症指定医療機関の浸水想定状況を調査
- 計画規模の洪水で約1/4、想定最大規模の洪水で約1/3の医療機関で浸水が想定。**大規模な洪水が発生した場合、感染症指定医療機関が浸水する危険性が必ずしも小さくない**ことを示唆。
- **最大想定浸水深が2~3mまたはそれ以上となる医療機関の割合は、計画規模で約14%、想定最大規模で約3割。特定・第一種感染症指定医療機関に限れば、およそ4割の医療機関が該当。**一類感染症に対する深刻なリスクが潜む状況。
- これらの医療機関では、土嚢や止水板の準備などの浸水防止策に加えて、**非常用電源や感染症病床の上層階への設置、電気回路の防水化などの対策**が必要。
- 最大浸水想定が10m程度となる所では、医療機関による**自衛的な対策のみでは浸水リスクに対応できない**可能性有り。地域の水防活動の強化、上流ダムの事前放流のような浸水深を抑える対策、医療機関全体の避難の受入れ先の確保など、**行政の治水・防災部局、厚生・保健部局の支援**が重要。

今後の事前放流研究の方向性

- ・ アンサンブル予測情報の利用が進むと思われる。気象庁メソアンサンブル予報などの新しい予測情報の利用など。ダム操作におけるユーザーモデル（治水効果、利水リスク、発電効果）の分析が重要。
- ・ 降雨予測精度の向上。全球モデル予報値のバイアス補正やダウンスケール技術。この分野ではAIの利用も進んでいる。
- ・ 現行ではアンサンブル予測の予測分布を信頼する手法が主。アンサンブル予測情報の予測精度を考慮する必要あり。
- ・ 過去の予報データや再予報データの利用環境の整備が必要。
- ・ 他の予測情報や観測情報との統合的利用に関する研究が進む。
- ・ 情報量が増えるので、意思決定支援システムのようなユーザー支援システムに関する研究も進むと思われる。
- ・ 現状では日本がやや進んでいるので、うまくやれば海外に技術売り込むことも可能と思われる。

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年8月6日実施
- 演題：「水は社会を映す鏡」
- 講師：大村 達夫（東北大学 未来科学技術共同研究センター シニアリサーチフェロー）
- 概要：
 - ・ CRESTなどの研究開発支援を受け、社会実装に到達できたノロウイルスの下水疫学について講演。
 - ・ 医学だけに過剰依存しないための、下水疫学の先行研究と将来について紹介。
 - ・ Withコロナ、Postコロナそれぞれの時期において下水疫学が貢献するため、課題や展望などを解説。

8

水環境学会タスクフォース（2）

<ミッション>

「下水および水環境中の新型コロナウイルスの検出・除去・リスク管理に関する国内外の情報収集・発信」を目的として、次の活動を行う。

- ・ 海外の調査報告や関連情報の収集
- ・ 国内における調査研究の連携支援と情報交換プラットフォームの提供
- ・ IWA COVID-19 Taskforce との連携と情報交換
- ・ 関連情報の学会員および産官民ステークホルダーへの情報発信
- ・ 国内研究成果の積極的な海外発信
- ・ 下水中の新型コロナウイルス検出・定量手法の標準化に向けた調査研究

15

「水と感染症」を考える意義とは

- ・ 上下水道が整備されて以降、コレラやチフスなどによる感染症の流行は過去の事象となった。
- ・ 現在、感染症といえばインフルエンザや感染性胃腸炎（ノロウイルスなど）の流行が社会的課題となっている。
- ・ これらのウイルス起因の感染症流行防止対策は医療学的観点からのワクチンや抗ウイルス薬の開発に依存してきている。しかし、これらのウイルスによる感染症の流行は毎年起こっており克服できていない。
- ・ 況してや、医療学的には今回の新型コロナ感染症の流行の終息に向けてすぐに対応できる状況にはない。
- ・ このような状況を解決するには、医療に依らないIT技術、AIそして遺伝子工学をはじめとする最先端技術を活用した感染症情報システム（下水から得られる情報に基づく）などを構築し活用する社会的取り組みを通じた対策が考えられる。

図：東北大学・大村シニアリサーチフェロー「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月6日）講演資料から許可を得て抜粋

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年8月6日実施
- 演題：「「生」を「衛（まもる）」工学における下水疫学調査」
- 講師：古米 弘明（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
- 概要：
 - 水分野で扱う衛生工学では、下水監視も範疇に含まれてきたことを紹介。
 - 国内外での水とCOVID-19に関わる話題と研究動向についての流れと大局的な要点を解説。
 - 下水疫学の特徴と可能性、課題、期待と展望について国内外の研究開発、社会動向の現状を踏まえた概況を講演。

今後期待される下水疫学調査研究

下水疫学調査の特徴とポテンシャル

特徴

1. 処理区や収集区域単位の感染状況を把握
2. 個人を特定することなく、匿名性のある疫学調査
3. 臨床診断体制が未整備地域で少ない検体で
4. ほぼリアルタイムで感染状況を反映
5. 臨床検査では捕捉しにくい無症状を含めた流行を把握

ポテンシャル(可能性)

- => 特定地域の流行状況を把握、早期に予兆を検知
- => 病院、介護施設など施設でのクラスターの検知の可能性
- => ウイルスの増減傾向から対策後の効果検証に活用
- => 臨床検査や感染予測モデルと組み合わせた対策検討・評価
- => 感染の収束や終息の判断や予測

CRDS環エネ企画セミナー「水と感染症」 2020年8月8日
33

今後期待される下水疫学調査研究

下水疫学調査研究の期待や展望

- 現場への実装の在り方、大規模事業者のイニシアティブ、事業者と衛生研究所(保健所)と民間企業の連携
- ポリオウイルス、ノロウイルスに続く、新型コロナウイルス対象の調査に加えて、麻薬や薬剤耐性菌の把握など
- 再生水利用基準における大腸菌に加えた、ウイルス指標導入の検討、議論へ
- 東南アジアなど検査や医療診断の体制が脆弱な発展途上国への活用方法の議論
- 下水疫学調査データのアーカイブ化、データベース化、データ活用技術、ビックデータやAI手法との関係など
- 衛生工学と公衆衛生学と社会科学の新たな連携・融合研究
- 気候変動、人口減少、リモート社会を踏まえた研究構想？

CRDS環エネ企画セミナー「水と感染症」 2020年8月8日
35

図：東京大学・古米教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月6日）講演資料から許可を得て抜粋

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年8月21日実施
- 演題：「病原微生物の伝搬と人々の行動」
- 講師：福士 謙介（東京大学 未来ビジョン研究センター 副センター長・教授）
- 概要：
 - ・ 感染症の歴史的経緯や人々の心理や行動から、感染経路の一つとして水が注目されてきた概要を解説。
 - ・ 世界の現地調査やシミュレーションを利用した感染リスクについての先行研究等を紹介。

社会の脆弱性：衛生インフラの重要性

- ・ ペルー政府で消毒副生成物の発ガン性に関する報告を元に水道水の消毒を中止
- ・ 中国の貨物船のバラスト水にコレラ菌が混入
- ・ コレラ菌が魚介類に付着
- ・ セヴィチェ（生魚介類のレモン汁あえ）を食べた人間が感染
- ・ 感染者の糞便が飲料水に混入
- ・ 大きなアウトブレイクが起こった
- ・ 最終的感染者：80万人、死亡者7千人（1991年）
- ・ クリティカルポイントを超え、大きな被害が起きた



セヴィチェ

人々の行動を分析する

人間の一日の行動をモジュール化し、それぞれのモジュールが内在する感染リスクを総合的に計算する

病原微生物

歩く

病原微生物

料理する

病原微生物

掃除をする

病原微生物

家具を移動する

病原微生物

水遊びをする

⋮



感染

図：東京大学・福士教授「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（8月21日）講演資料から許可を得て抜粋

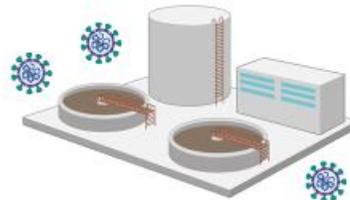
[参考] 講演概要

- 開催日：2020年9月4日実施
- 演題：「新型コロナウイルスの下水疫学」
- 講師：北島 正章（北海道大学 大学院工学研究院 助教）
- 概要：
 - 新たな学問分野としての「下水疫学」の開拓状況や、欧米研究者などとの世界的な共同研究状況について紹介。
 - 欧米の感染者数と比較して、日本では感染者数が少なく、検出のため必要なウイルス濃縮などに課題が多いことなどの解説。

COVID-19の下水疫学:まとめ

28

- ウイルス感染症に対する下水疫学調査の有用性
 - 過去にはノロウイルスやポリオウイルス等で適用事例
 - COVID-19への適用可能性
 - Kitajima et al. の総説論文で世界に先駆けて提唱
 - 下水からのSARS-CoV-2 RNAの検出成功事例が相次いで報告
 - 流行期に検出される傾向があり、概念が実証されつつある段階
- 下水道の新たな付加価値
 - 汚水排除・処理と雨水排除のために作られた下水道インフラに「感染症流行状況の監視」という新たな役割



今後の研究課題と展望

29

- 下水中SARS-CoV-2検出法の確立
 - 回収率・検出データの蓄積
 - 感度の向上
 - 感染者数の少ない状況でも検出可能な技術の開発
- 下水の安全性
 - 下水中のSARS-CoV-2の感染性
 - 下水中での生残性、RNA残存性
 - 下水処理での除去率
 - 特に、消毒の効果
- 将来のパンデミックに備えた下水疫学研究
 - エンベロープウイルス(コロナ、インフルエンザ、エボラ、デング、ジカ等)の重要性
 - 調査研究体制の整備
 - 下水採取、試料分析、データ解析・発信

図：北海道大学・北島助教「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」（9月4日）講演資料から許可を得て抜粋

謝辞

- 本資料の作成にあたり、国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センターが実施したエキスパートセミナーで専門分野の知見、研究開発動向などを講演いただいた有識者の皆様方に深く感謝いたします。